

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Sampah

Beberapa pengertian tentang sampah adalah :

- a. Sampah merupakan bahan sisa, baik bahan – bahan yang sudah tidak digunakan lagi (barang bekas) maupun bagian yang sudah diambil bagian utamanya.
- b. Ditinjau dari segi ekonomi, sampah adalah bahan yang sudah tidak ada harganya.
- c. Ditinjau dari segi lingkungan, sampah adalah bahan buangan yang tidak berguna dan banyak menimbulkan masalah pencemaran dan gangguan pada kelestarian lingkungan.

Berdasarkan uraian diatas maka dapat dibuat suatu batasan masalah yang definitif tentang sampah, yaitu : sisa – sisa bahan yang mengalami perlakuan – perlakuan baik karena telah diambil bagian utamanya, atau karena pengolahan atau karena sudah tidak ada manfaatnya yang ditinjau dari segi sosial ekonomis tidak ada harganya dan dari segi lingkungan dapat menimbulkan pencemaran atau gangguan kelestarian. (Sowedo, 1983)

2.1.1. Sumber Sampah

Sampah dapat di jumpai di segala tempat dan hampir di semua kegiatan. Berdasarkan sumber/asalnya, maka sampah dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Sampah dari hasil kegiatan rumah tangga termasuk di dalam hal ini adalah sampah dari : asrama, rumah sakit, hotel – hotel dan kantor
2. Sampah dari kegiatan industri/pabrik
3. Sampah dari hasil kegiatan pertanian, yang meliputi : perkebunan, kehutanan, perikanan dan peternakan.

4. Sampah dari hasil kegiatan perdagangan, misalnya : sampah pasar dan sampah toko.
5. Sampah dari kegiatan pembangunan
6. Sampah jalan raya

Sampah yang berasal dari pemukiman/tempat komersial, selain terdiri atas sampah organik dan organik, juga dapat dikategorikan B3. Sampah organik bersifat *biodegradable* sehingga mudah terdekomposisi, sedangkan sampah anorganik bersifat *non-biodegradable* sehingga sulit terdekomposisi. Bagian anorganik sebagian besar terdiri dari kaca, tembikar, logam dan debu.

2.1.2. Komposisi Sampah

Pada suatu kegiatan mungkin akan dihasilkan jenis sampah yang sama. Misalnya sampah yang hanya terdiri atas kertas, logam, atau daun-daunan saja. Apabila tercampur dengan bahan-bahan lain, maka sebagian besar komponennya adalah seragam. Karena itu berdasarkan komposisinya, sampah dibedakan menjadi dua macam :

- Sampah yang seragam. Sampah dari kegiatan industri pada umumnya termasuk golongan ini. Sampah dari kantor sering hanya terdiri atas kertas, kantor, kertas karbon, dan masih dapat digolongkan dalam golongan sampah yang seragam.
- Sampah yang tidak seragam (campuran), misalnya sampah yang berasal dari pasar atau sampah dari tempat-tempat umum

Di Indonesia, penggolongan sampah yang sering digunakan adalah sebagai :

- (a) Sampah organik, atau sampah basah yang terdiri dari atas daun-daunan, kayu, kertas, tulang, sisa-sisa makanan ternak, sayur, buah dan lain-lain
- (b) Sampah anorganik, atau sampah kering : yang terdiri atas kaleng, plastik, besi dan logam-logam lainnya, gelas, mika atau bahan-bahan, kadang kertas dimasukkan dalam kelompok ini.

Komposisi sampah juga dipengaruhi oleh beberapa faktor :

- Cuaca : Di daerah yang kandungannya airnya tinggi, kelembaban sampah juga akan cukup tinggi.
- Frekuensi pengumpulan : Semakin sering sampah dikumpulkan maka semakin tinggi tumpukan sampah terbentuk. Tetapi sampah organik akan berkurang karena membusuk, dan yang akan terus bertambah adalah kertas dan sampah lainnya yang sulit terdegradasi.
- Musim : Jenis sampah akan ditentukan oleh musim buah-buahan yang sedang berlangsung.
- Tingkat social ekonomi : Daerah ekonomi tinggi pada umumnya menghasilkan total sampah yang terdiri atas bahan kaleng, kertas dan sebagainya.
- Pendapatan perkapita : Masyarakat dan tingkat ekonomi lemah akan menghasilkan total sampah yang lebih sedikit dan homogen.
- Kemasan produk : Kemasan produk bahan kebutuhan sehari-hari juga akan mempengaruhi. Negara maju seperti Amerika tambah banyak menggunakan kertas sebagai pengemas, sedangkan Negara berkembang seperti Indonesia banyak menggunakan plastic sebagai pengemas.

2.2. Pengertian Lindi (*leachate*)

Lindi (*leachate* atau air luruhan sampah) adalah cairan yang meresap melalui sampah dan mengandung unsur-unsur yang terlarut dan tersuspensi. Lindi ini termasuk salah satu bentuk pencemar lingkungan yang dihasilkan oleh timbunan sampah. Lindi akan terjadi apabila ada air eksternal yang berinfiltrasi ke dalam timbunan sampah, misalnya dari air permukaan, air hujan, air tanah atau sumber lain. Cairan tersebut kemudian mengisi rongga-rongga pada sampah, dan bila kapasitasnya telah melampaui kapasitas air dari sampah, maka cairan tersebut akan keluar dan mengekstrasi bahan organik dan anorganik hasil proses fisika, kimia dan biologis yang terjadi pada sampah. Hasil dari proses tersebut, maka biasanya lindi akan

mengandung bahan- bahan organik terlarut serta ion-ion anorganik dalam konsentrasi yang tinggi (Tri Padmi Damanhuri, 1993)

Pada saat lindi mengalir dan mencapai air tanah maka kehadiran lindi dengan kandungan logam berat dan senyawa organiknya akan menurunkan kualitas air tanah di sekitarnya. Untuk menghindari hal tersebut perlu dipikirkan usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk mencegah atau mengurangi dampak negatif lindi terhadap lingkungan.

2.2.1. Proses Pembentukan Lindi

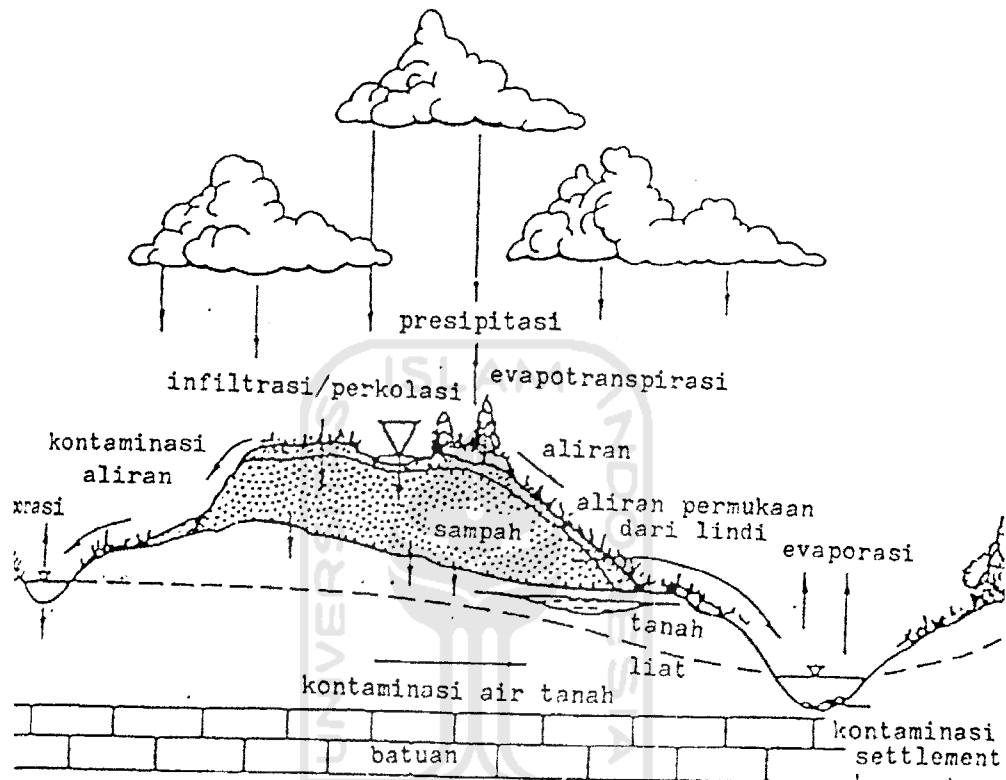
Sejak sampah berada dalam timbunan, maka mulailah terjadi proses dekomposisi yang ditandai oleh perubahan secara fisis, biologi dan kimiawi pada sampah. Proses yang terjadi antara lain :

- a. Penguraian biologis bahan organik secara aerob dan anaerob yang menghasilkan gas dan cairan.
- b. Oksidasi kimiawi .
- c. Pelepasan gas dari timbunan.
- d. Pergerakan cairan karena perbedaan tekanan.
- e. Pelarutan bahan organik dan anorganik oleh air dan lindi yang melewati timbunan sampah.
- f. Perpindahan materi terlarut karena gradien konsentrasi.
- g. Penurunan permukaan tanah yang disebabkan oleh pemadatan sampah yang mengisi ruang kosong pada timbunan.

Salah satu hasil dari rangkaian proses di atas adalah terbentuknya *leachate* yang berupa cairan akibat adanya air eksternal yang berinfiltrasi kedalam timbunan sampah. Air yang ada pada timbunan sampah ini antara lain berasal dari :

- a. Presipitasi atau aliran permukaan yang berinfiltrasi ke dalam timbunan sampah secara horisontal melalui tempat penimbunan.
- b. Kandungan air dari sampah itu sendiri.
- c. Air hasil proses dekomposisi bahan organik dalam sampah.

Reaksi biologis akan terus berlangsung di dalam timbunan sampah menurut kondisi ada maupun tak ada oksigen serta tahapan proses dekomposisi, sehingga proses yang terjadi akan bersifat aerob dan anaerob. Sejalan dengan reaksi biologis akan terjadi pula reaksi kimia dimana leaching (proses terjadinya lindi). Secara pembentukan lindi dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2.1.

Keseimbangan air dalam suatu tanah lahan urug

Pada gambar terlihat bahwa lindi akan bergerak melewati tanah, dan pada saatnya mencapai air tanah yang merupakan salah satu sumber air bagi manusia. Mengingat kualitas lindi yang buruk, maka kontak antara lindi dengan air tanah harus dihindarkan, karena apabila hal ini terjadi maka kualitas air tanah akan menurun terutama karena adanya konsentrasi mineral (kesadahan, alkalinitas,

besi, mangan, dan lain – lain) serata kandungan organik (BOD_5 , COD) pada air tanah.

2.2.2. Kualitas dan Kuantitas Lindi

Kualitas dan Kuantitas Lindi penting untuk diketahui untuk menentukan sistem pengolahan yang tepat dan bentuk memperkirakan efek-efek polusi dari lindi terhadap lingkungan.

Komposisi dan produktivitas lindi dipengaruhi oleh berbagai hal, seperti :

- a. Karakteristik sampah (organik/anorganik, mudah tidaknya terurai, mudah larut atau tidak)
- b. Hidrologi lokasi penimbunan sampah
- c. Klimatologi
- d. Kondisi TPA : umur timbunan sampah, kelembaban, temperatur
- e. Sifat air yang masuk ke timbunan sampah
- f. Jenis operasi yang dilakukan ditempat penimbunan sampah (tanah penutup, dan sebagainya)

Faktor-faktor tersebut di atas sangat bervariasi pada satu tempat pembuangan sampah dengan tempat pembuangan yang lain, demikian pula aktivitas biologis serta proses yang terjadi pada timbunan sampah, baik secara aerob maupun anaerob.

Komponen utama yang terdapat dalam lindi dari land-fill antar lain adalah

1. Zat organik
2. Kalsium (Ca)
3. Besi (Fe)
4. Nitrat (NO_2)
5. Tracemetal seperti : Mangan (Mn), timah hitam, serta komponen mikrobiologi

Tabel 2.1. Kandungan unsur-unsur dalam *Leachate*

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi	
			Kisaran	Tipikal
1	BOD	mg/l	2000 - 30000	10000
2	TOC	mg/l	1500 - 20000	6000
3	COD	mg/l	3000 - 45000	18000
4	TSS	mg/l	200 - 1000	500
5	Organik Nitrogen	mg/l	10 - 600	200
6	Amonia Nitrogen	mg/l	16 - 800	200
7	Nitrat	mg/l	5 - 40	25
8	Total Phospor	mg/l	1 - 70	30
9	Ortho Phospor	mg/l	1 - 50	20
10	Alkaliniti	mg/l	1000 - 10000	3000
11	pH	-	5,3 - 8,5	6
12	Total Hardness	mg/l	200 - 10000	3500
13	Kalsium	mg/l	200 - 3000	1000
14	Magnesium	mg/l	50 - 1500	250
15	Potasium	mg/l	200 - 2000	300
16	Natrium	mg/l	200 - 2000	500
17	Klorida	mg/l	100 - 3000	500
18	Sulfat	mg/l	100 - 1500	300
19	Total Besi	mg/l	50 - 600	60

Sumber : Tchobanoglous (1977)

2.2.3. Karakteristik Lindi

Karakteristik Lindi sangat bervariasi tergantung dari proses dalam *landfill* yang meliputi proses fisik, kimia dan biologis. Mikroorganisme di dalam sampah akan menguraikan senyawa organik yang terdapat dalam sampah menjadi senyawa

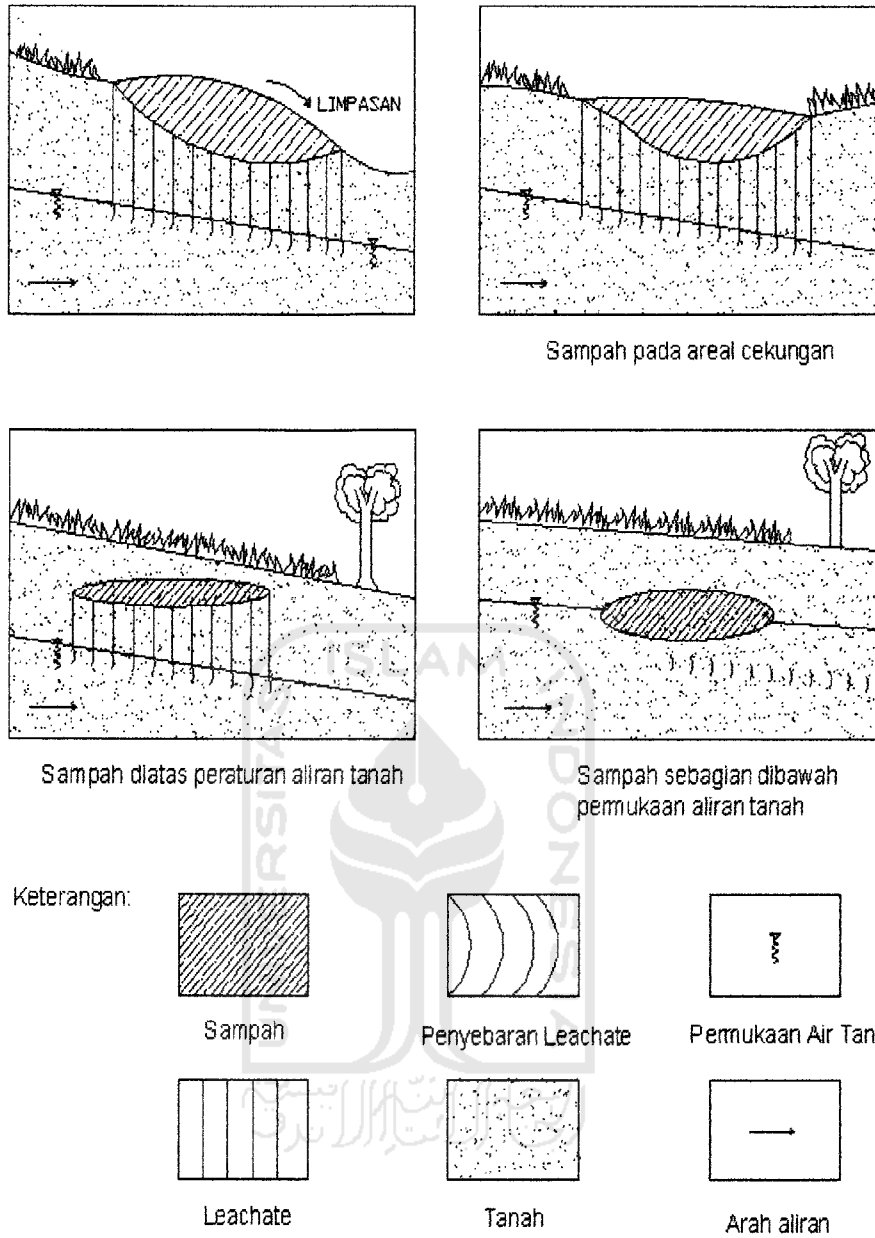
organik yang lebih sederhana, sedangkan senyawa anorganik seperti besi dan logam lain dapat teroksidasi (Tchobanoglous, 1977).

Aktivitas didalam *landfill* umumnya mengikuti suatu pola tertentu, pada mulanya sampah terkomposisi secara aerobik, tetapi setelah oksigen di dalamnya habis maka mikroorganisme fakultatif dan anerob yang menghasilkan gas methan yang tidak berbau dan berwarna. Karakteristik penguraian secara aerobik adalah timbulnya karbondioksida, air dan nitrat sebagai pengurai, sedangkan penguraian secara anaerobik menghasilkan methan, karbondioksida, air, asam organik, nitrogen, amoniak, sulfida, besi, mangan dan lain-lain.

2.2.4. Pergerakan Lindi di TPA

Lindi yang terdapat pada dasar *landfill* dapat bergerak secara horizontal/vertikal tergantung dari karakteristik premeabilitas tanah. Selama pengaliran lindi dalam tanah, nilai koefisien premeabilitas akan menurun ssesuai dengan waktu, karena reaksi yang memperkecil ukuran pori.

Partikel tanah dengan permukaan yang halus menyebabkan aliran lindi lebih lambat, karena koefisien premeabilitasnya rendah, hal ini memungkinkan tanah tersebut memiliki kemampuan yang lebih tinggi untuk menahan zat padat yang terlarut. Lindi bergerak dari kadar air jenuh ke tidak jenuh. Jika seluruh rongga dalam tanah terisi oleh air, maka tanah tersebut dikatakan mencapai titik jenuh. Kemungkinan terjadi pengenceran lindi di dalam air tanah sangat kecil karena aliran tanah sifatnya laminer. Proses tersebut untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2.2.

Penyebaran lindi dalam air tanah

2.2.5. Pengaruh lindi terhadap polusi air

Air, meliputi semua air yang terdapat di dalam dan atau berasal dari sumber air yang terdapat di atas permukaan tanah. Air yang terdapat di bawah permukaan tanah dan air laut tidak termasuk dalam pengertian ini.

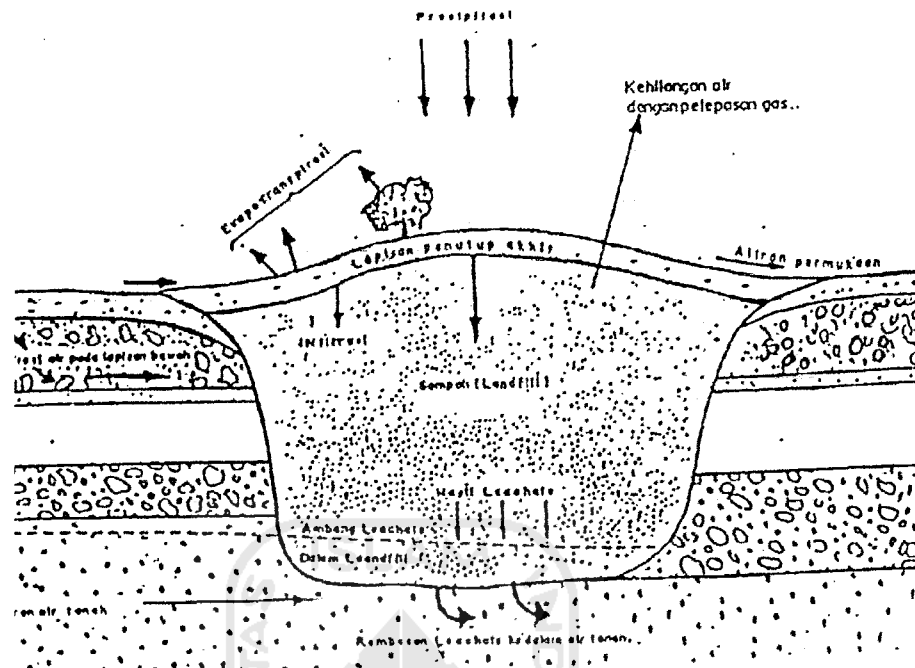
Pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan tidak lagi berfungsi sesuai peruntukannya.

Pada hakekatnya, pemantauan kualitas air pada saluran pembuangan limbah industri dan badan air penerima limbah industri pada dasarnya memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik kualitas limbah cair yang dihasilkan
2. Membandingkan nilai kualitas limbah cair dengan baku mutu kualitas limbah industri, dan menentukan beban pencemaran menurut PP No: 82 Tahun: 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air
3. Menilai efektivitas instalasi pengolahan limbah industri yang dioperasikan
4. Memprediksi pengaruh yang mungkin ditimbulkan oleh limbah cair tersebut terhadap komponen lingkungan lainnya.

Pengaruh lindi terhadap polusi air adalah sebagai berikut :

- a.. Air permukaan yang terpolusi oleh lindi dengan kandungan organik yang tinggi, pada proses penguraian secara biologis akan menghabiskan kandungan oksigen dalam air dan pada akhirnya seluruh kehidupan yang bergantung pada oksigen akan mati.
- b. Air tanah yang tercemar oleh lindi yang berkonsentrasi tinggi, polutan tersebut akan tetap berada pada air tanah dalam jangka waktu yang lama karena terbatasnya oksigen yang terlarut. Sumber air bersih yang berasal dari air tanah terpolusi tersebut dalam jangka waktu yang lama tidak sesuai lagi untuk sumber air bersih aauntuk lebih jelasnya proses tersebut dapat di lihat pada gambar :



Gambar 2.3.

Perembesan lindi kedalam air tanah

Sumber : Chatib, 1986

2.3. Pengolahan Air Limbah

Tujuan utama dari pengolahan air limbah adalah untuk mengurangi BOD, partikel tercampur, serta membunuh organisme patogen. Selain itu juga diperlukan tambahan pengolahan untuk menghilangkan bahan untrisi, komponen beracun, serta bahan yang tidak dapat didegradasi agar konsentrasi yang ada menjadi rendah (Sasongko, 1986).

2.3.1. Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air buangan dibedakan atas tiga karakteristik, yaitu :

1. Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik meliputi derajat kekotoran air limbah yang dipengaruhi oleh adanya sifat fisik yang mudah terlihat. Adapun sifat fisik tersebut adalah kekeruhan, suhu, rasa, warna dan bau.

2. Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia terbagi tiga kategori, yaitu bahan organik, bahan anorganik dan gas-gas. Untuk bahan organik meliputi protein, karbohidrat, minyak, lemak, deterjen dan fenol. Untuk bahan anorganik meliputi derajat keasaman (pH), logam berat dan kesadahan.

3. Karakteristik Biologi

Karakteristik biologi limbah merupakan hal yang penting karena terdapat beribu-ribu bakteri mikroorganisme lain yang terdapat didalam air limbah yang belum diolah,

2.4. Logam Berat

2.4.1 Pengertian Logam Berat

Logam berat termasuk golongan logam dengan kriteria – kriteria yang sama dengan logam lainnya. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan bila logam ini berkaitan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme (palar,1994).

Karakteristik logam berat tersebut meliputi:

1. Memiliki spesifikasi yang besar.
2. Mempunyai nomor atom 22 – 34 dan 40 – 45 serta unsure-unsur lantanida dan aktanida
3. Mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup.

Limbah yang mengandung logam berat dan bahan toksik tidak hanya mengganggu kesehatan lingkungan, kesejahteraan lingkungan dan kesejahteraan manusia tetapi juga dapat merubah sistem kerja biologi. Logam berat yang terkandung dalam air limbah secara sendiri – sendiri atau dalam bentuk kombinasi

terkandung dalam air limbah secara sendiri – sendiri atau dalam bentuk kombinasi dapat bersifat toksit yang mempunyai dampak besar pada seluruh komunitas air.

Pencemaran logam berat berasal dari berbagai macam kegiatan industri dan teknologi serta berbagai macam bahan produksi yang digunakan. Intensitas pencemaran badan air oleh limbah ditandai dengan adanya cemaran- cemaran toksit dan logam berat yang bersifat biokumulatif.

Pencemaran yang ditimbulkan oleh logam berat sampai kadar tertentu dapat mengganggu kesehatan manusia. Masalah yang ditimbulkan oleh unsur – unsur logam berat ini cukup rumit, karena mempunyai sifat – sifat sebagai berikut :

- a. Beracun
- b. Tidak dapat dirombak atau dihancurkan oleh organisme hidup
- c. Dapat diakumulasi dalam tubuh organisme termasuk manusia baik secara langsung maupun tidak langsung.

2.4.2. Timbal (Pb)

Timbal merupakan logam berat yang banyak terdapat di lingkungan, karena terdapat di alam dan digunakan untuk industri. Dalam sumber alam, Pb ditemukan pada batu, tanah, air, udara dan tanaman. Sumber utamanya adalah batu metamorf dengan kadar Pb berkisar antara 10-20 mg/kg (Tjoukoli Nem, 1988).

Sedangkan menurut L setiono (1985) Pb dengan berat atom 207,19 dan termasuk dalam golongan IVA dalam sistem periodik unsur adalah logam yang berwarna abu-abu kebiruan dengan kerapatan yang tinggi (11,489 ml pada suhu kamar). Pb mudah larut dalam asam nitrat yang pekatnya sedang.

2.4.3. Sifat-sifat Timbal (Pb)

Timbal banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena sifatnya sebagai berikut :

1. Timbal mempunyai titik didih rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair dibutuhkan teknik yang sederhana dan tidak mahal.

2. Timbal merupakan logam yang lunak sehingga lebih mudah diubah menjadi bentuk yang lain.
3. Sifat kimia timbal menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab.
4. Timbal dapat membentuk alloy dengan logam lainnya kecuali emas dan merkuri (Fardiaz, 1992)

Selain itu timbal (Pb) juga mempunyai sifat-sifat khusus seperti ;

1. Merupakan logam yang lemah sehingga dapat dipotong dengan pisau atau tangan dan dapat dibentuk dengan mudah.
2. Merupakan logam yang tahan terhadap korosi atau karat, sehingga logam timbal sering digunakan untuk bahan coating.
3. Mempunyai titik lebur rendah ($237,5^{\circ}\text{C}$).
4. Mempunyai kekerapan yang lebih besar disbanding logam-logam biasa, kecuali emas dan merkuri.
5. Merupakan penghantar listrik yang tidak baik.

2.4.4. Pencemaran Timbal dalam Perairan

Timbal (Pb) dapat berada di dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai bentuk dari aktivitas manusia. Secara alamiah, Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Pb yang masuk ke dalam badan perairan sebagai dampak dari aktivitas kehidupan manusia ada bermacam bentuk, diantaranya adalah air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah hitam dan buangan sisa industri baterai. Buangan-buangan tersebut akan jatuh pada jalur perairan seperti anak sungai untuk kemudian akan dibawa terus menuju lautan. Umumnya jalur buangan dari bahan sisa perindustrian yang menggunakan Pb akan merusak tata lingkungan perairan yang dimasukinya (menjadi sungai dan alurnya tercemar).

Badan perairan yang mengandung senyawa atau ion-ion Pb dalam perairan melebihi konsentrasi yang sementara akan mengakibatkan kematian bagi biota

perairan tersebut. Konsentrasi Pb yang mencapai 188 ml/l, dapat membunuh ikan-ikan. Biota-biota perairan Crustacea akan mengalami kematian setelah 245 jam, bila pada badan perairan di mana biota itu berada terlarut Pb pada konsentrasi 2,75 – 49 mg/l. Sedangkan biota perairan lainnya yang dikelompokkan dalam golongan insecta akan mengalami kematian dalam rentang waktu yang lebih panjang, yaitu antara 168 – 336 jam, bila pada badan perairan tempat hidupnya terlarut 3,5 – 64 mg/l Pb (Palar, 1994)

Rangkaian akumulasi Pb dalam lingkungan perairan dapat digambarkan sebagai rantai makanan seperti berikut:

Pb → air → bahan-bahan organik → isopoda dan gol siput → ikan kecil → ikan besar → manusia.

2.4.5. Bahaya Timbal Bagi Manusia

Timbal digolongkan sebagai logam kelas B, yaitu larut dalam lemak (lipid soluble) sehingga mampu untuk melakukan penetrasi pada membran sel pada akhirnya logam timbal akan terakumulasi dalam sel dan organ manusia. Organ-organ tubuh banyak menjadi sasaran keracunan timbal seperti saraf, sistem ginjal, sistem reproduksi, sistem endokrin dan jantung. Gejala timbal diantaranya adalah kelemahan otot terutama tangan dan kaki (90 – 95%) Pb dalam tubuh terdeposit dalam tulang, depresi, sakit kepala, lemah dan lesu, serta anemia (Palar, 1994).

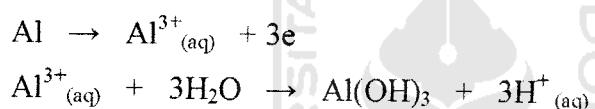
Keracunan logam Pb ke dalam tubuh manusia dapat melalui makanan dan minuman, serta perembesan atau penetrasi pada selaput atau lapisan kulit. Timbal bila masuk ke dalam tubuh manusia dalam tingkat tertentu akan memberi dampak psikologis dan saraf, termasuk fungsi hati dan darah menjadi tidak normal, menurunkan tingkat transmisi otak, menimbulkan gangguan pada fungsi enzim dan asam amino, serta mempengaruhi pembentukan sel-sel darah merah. Sedangkan senyawa Pb dalam keadaan kering terdispersi di dalam udara bila terhirup sebagian akan menumpuk di kulit dan atau terserap oleh daun tumbuhan (Palar, 1994).

2.5. Elektrokoagulasi

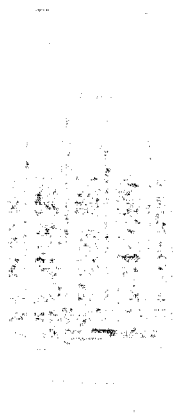
Proses koagulasi adalah proses pencampuran koagulan dengan air sedemikian rupa sehingga membentuk campuran yang homogen, yaitu koagulan tersebar merata di setiap bagian air. Koagulan yang tersebar merata disebut inti flok. Jadi larutan homogen pada proses koagulasi yaitu inti flok yang berasal dari koagulan akan tersebar merata di seluruh bagian air.

Proses elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi kontinue dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana salah satunya terbuat dari aluminium. Dalam proses ini akan terjadi proses reaksi reduksi oksidasi, yang mengandung logam-logam akan direduksi dan diendapkan di kutub negative sedangkan elektroda positif (Al) akan teroksidasi menjadi $[Al(OH)_3]$ yang berfungsi sebagai koagulan.

Reaksi pembentukan inti flok $[Al(OH)_3]$ sebagai hasil reaksi oksidasi aluminium:



Dalam bentuk yang paling sederhana, reaktor pengkoagulasi elektron dapat dibuat dari sel elektrolitik dengan satu anoda dan satu katoda. Ketika dihubungkan dengan sumber tenaga eksternal, bahan anoda tersebut secara elektrokimia akan mengkorosi karena proses oksidasi, sementara katodanya akan cenderung menjadi pasif. Tetapi penyusunan ini tidak sesuai untuk penanganan air limbah, karena untuk tingkat proses penggabungan logam, penggunaan elektroda dengan area permukaan yang besar diperlukan. Hal ini tercapai dengan menggunakan sel-sel elektroda monopolar, didalam salah satu hubungan paralel atau seri. Penyusunan sel elektrokoagulasi yang sederhana dengan menggunakan sepasang anoda dan sepasang katoda pada penyusunan paralel ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.4. Reaktor Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi memiliki kelebihan dan kekurangan dalam mengolah limbah cair. Adapun kelebihanannya adalah sebagai berikut :

1. Elektrokoagulasi memerlukan peralatan yang sederhana.
2. Elektrokoagulasi merupakan proses yang tidak menggunakan bahan kimia sehingga tidak memerlukan penetral, dan tidak ada kemungkinan terjadinya polusi.
3. Dapat memberikan efisiensi proses yang cukup tinggi untuk berbagai kondisi dikarenakan tidak dipengaruhi temperature, pH tanpa menggunakan bahan kimia tambahan.

Adapun kelemahan dari proses elektrokoagulasi yaitu tidak dapat digunakan untuk mengolah limbah cair yang mempunyai sifat elektrolit cukup tinggi dikarenakan akan terjadi hubungan singkat antar elektroda. Besarnya reduksi logam berat dalam limbah cair dipengaruhi oleh besar kecilnya arus voltase listrik searah pada elektroda, luas sempitnya bidang kontak elektroda dan jarak antar elektroda.

Reaksi kimia yang terjadi pada proses elektrokoagulasi yaitu reaksi reduksi oksidasi yaitu sebagai akibat adanya arus listrik (DC). Pada reaksi ini terjadi pergerakan dari ion-ion yaitu ion positif bergerak katoda yang bermuatan negatif dan ion-ion ini disebut kation (bermuatan positif) sedangkan ion-ion negatif bergerak ke

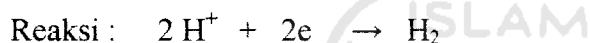
anoda yang bermuatan positif yang kemudian ion-ion tersebut dinamakan sebagai anion (bermuatan negatif).

Elektroda dalam proses elektrokoagulasi merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik ke dalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi (perubahan kimia). Elektroda tempat terjadi reaksi reduksi disebut katoda sedangkan tempat terjadinya reaksi oksidasi disebut anoda. Sehingga reaksi yang terjadi pada elektroda tersebut sebagai berikut :

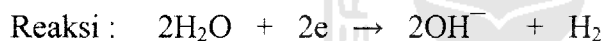
a. Reaksi pada katoda :

Pada katoda akan terjadi reaksi-reaksi reduksi terhadap kation, yang termasuk dalam kation ini adalah ion H^+ dan ion-ion logam.

1. Ion H^+ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



2. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda.

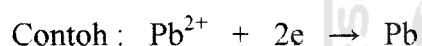
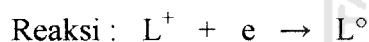


Dari daftar E° (deret potensial logam atau deret volta) maka akan diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah berlangsung dari pada reduksi terhadap pelarutnya (air) : K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, (H), Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.

Dengan memakai deret volta, kita memperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Logam-logam yang terletak di sebelah kiri H memiliki E° negatif sedangkan logam-logam yang terletak di sebelah kanan H memiliki E° positif .
- b. Makin ke kanan letak suatu logam dalam deret volta, harga makin E° besar. Hal ini berarti bahwa logam-logam di sebelah kanan mudah mengalami reduksi serta sukar mengalami oksidasi.

- c. Makin ke kiri letak suatu unsur dalam deret volta, harga E° makin kecil. Hal ini berarti bahwa logam-logam di sebelah kiri sukar mengalami reduksi serta mudah mengalami oksidasi.
- d. Oleh karena unsur-unsur logam cenderung melepaskan elektron (mengalami oksidasi), maka logam-logam di sebelah kiri merupakan logam-logam yang aktif (mudah melepaskan elektron), sedangkan logam-logam di sebelah kanan merupakan logam-logam yang sukar melepaskan elektron. Emas terletak di ujung paling kanan, sebab emas paling sukar teroksidasi.
- e. Makin ke kanan, sifat reduktor makin lemah (sukar teroksidasi). Makin ke kiri, sifat reduktor makin kuat (mudah teroksidasi). Itulah sebabnya, unsur-unsur dalam deret volta hanya mampu mereduksi unsur-unsur di kanannya, tapi tidak mampu mereduksi unsur-unsur di kirinya.
3. Jika larutan mengandung ion-ion logam lain maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda.

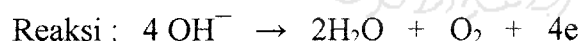


b. Reaksi pada anoda

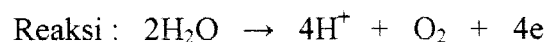
1. Anoda terbuat dari logam tembaga akan teroksidasi.



2. Ion OH^- dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksidasi (O_2).



3. Anion-anion lain (SO_4^- , SH_3^-) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya (H_2O) membentuk gas oksigen (O_2) pada anoda.



Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya. Sedangkan pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk.

Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Johanes, 1978).

Karena dalam proses elektokoagulasi ini menghasilkan gas yang berupa gelembung-gelembung gas, maka kotoran-kotoran yang terbentuk yang ada dalam air akan terangkat ke atas permukaan air. Flok-flok yang terbentuk ternyata mempunyai ukuran yang relatif kecil sehingga flok-flok yang terbentuk tadi lama-kelamaan akan bertambah besar ukurannya.

Proses pengendapan adalah pemisahan dengan pengendapan secara gravitasi dari partikel-partikel padat di dalam air. Proses dimaksud dapat menurunkan partikel-partikel discret yang mengendap dengan kecepatan konstan dan pengendapan partikel-partikel flok yang mempunyai kecepatan mengendap dipengaruhi pertambahan floknya sendiri (Benny Chotib, 1998).

2.5.1. Sel Elektrolisis

Suatu zat yang dapat menerima ion – ion atau menyerahkan ion dimana ia tercelup di dalam suatu larutan dinamakan elektrokimia. Sel elektrokimia yang bila diterusi arus listrik menghasilkan reaksi reduksi pada katoda dan anoda .

Elektroda dalam proses elektokoagulasi sangat penting, karena elektroda merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik ke dalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi (perubahan kimia). Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan tembaga dan aluminium. Karena selain mudah didapat di pasaran juga mempunyai sifat yaitu tahan terhadap korosi, merupakan penghantar yang baik, merupakan konduktor yang kuat dan dapat mereduksi dan mengoksidasi logam.

2.5.2. Tembaga (Cu)

Tembaga dengan nama kimia cuprum dilambangkan dengan nama Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Dalam table periodik unsur – unsur kimia tembaga mempunyai nomor atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 63,546. Tembaga murni berwarna merah dan bersifat ulet, oleh karena itu dapat dikerjakan dengan baik secara penempaan, pengelasan dan lainnya. Berat jenis tembaga murni adalah 8,29. Tembaga dalam perdagangan umumnya kurang murni dan kurang padat, karena berat jenisnya rata – rata hanya 8,2 (Wilogo, 1982). Terhadap unsur kimia tembaga kurang dapat bertahan, dalam lingkungan udara yang lembab bagian luar tembaga tersebut akan tertutup suatu lapisan kulit yang berwarna hijau yaitu tembaga asam arang (patina). Menurut Hartono dan Kaneko (1992), tembaga mempunyai sifat yang elektropositif (mulia), tembaga mudah diendapkan oleh logam yang daya hantar listriknya lebih tinggi.

2.5.3. Aluminium

Aluminium termasuk dalam periode ketiga dalam sistem yang masuk unsur logam dan termasuk kedalam III A.

Sifat-sifat aluminium menurut Sawyer (1978) adalah:

1. Sifat fisik
 - a. Berwarna keperakan
 - b. Mempunyai kerapatan 2,7 gr/ml
 - c. Titik leleh 660° C
 - d. Titik didih 2.400° C
 - e. Merupakan penghantar listrik yang baik
 - f. Tahan terhadap korosi.
2. Sifat kimia
 - a. Aluminium merupakan konduktor yang kuat dengan nilai potensial – 1.66 volt.

- b. Dalam bentuk bubuk, alumunium mudah terbakar, menghasilkan panas. Reaksi 339 Kkal
- c. Alumunium dapat bereaksi dengan asam basa, karena bersifat amfoter. Unsur lain yang termasuk amfoter adalah Zn, Mn, Sn, Pb, Sb.

Alumunium digunakan antara lain untuk :

1. Mereduksi dan mengoksidasi logam;
2. Alumunium sulfat $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 17H_2O]$ digunakan untuk pengolahan
3. Alumunium dibuat katalis.

2.6. Arus Listrik

Dalam proses elektrokoagulasi arus yang digunakan yaitu arus searah yang berfungsi sebagai sumber listrik yang dapat memberikan arus listrik secara konstan terhadap waktu. Sehingga disebut searah karena medianya selalu sama meskipun besarnya berubah-ubah (Johanes, 1978).

Dalam hal ini arus didefinisikan sebagai jumlah perpindahan rata-rata dari muatan positif yang melewati per satuan waktu.

$$i = \frac{Q}{t}$$

Satuan MKS dari arus adalah 1 coulomb per detik disebut 1 ampere. Banyak zat yang dihasilkan dari reaksi elektrokoagulasi sebanding dengan banyaknya arus listrik yang dialirkan ke dalam larutan. Hal ini dapat digambarkan dengan hukum Faraday I:

$$\frac{Q}{t} = \frac{ixt}{F}$$

Dimana :

W = massa zat yang dihasilkan

e = bobot ekivalen = $\frac{Ar}{n}$

i = arus dalam ampere

t = waktu dalam satuan detik

F = tetapan Faraday dimana 1 faraday = 96500 coulomb

$i \times t$ = arus dalam satuan coulomb

$\frac{ixt}{F}$ = arus dalam satuan faraday

$\frac{W}{e}$ = gram ekivalen (grek)

Grek adalah mol elektron dari suatu reaksi yang sama dengan perubahan bilangan oksidasi 1 mol zat. Maka dari rumus di atas diperoleh :

Jumlah = grek = mol elektron. Dalam penentuan massa zat yang dihasilkan dalam reaksi elektrokoagulasi, biasanya data yang diketahui adalah A_r bukan

$$e = \frac{Ar}{n}, \text{ sehingga rumus Faraday menjadi : } W = \frac{exixt}{F}$$

Dimana : n = valensi atau banyaknya mol elektron untuk setiap 1 mol zat.

2.7. Aerasi

Aerasi merupakan istilah lain dari transfer gas dengan penyempitan makna, lebih dikhususkan pada transfer gas (khususnya oksigen) dari fase gas ke fase cair. Fungsi utama aerasi dalam pengolahan air dan air limbah adalah melarutkan oksigen kedalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air, dalam campuran tersuspensi lumpur aktif dalam air, dalam bioreaktor dan melepaskan kandungan gas-gas yang terlarut dalam air, serta membantu pengadukan air. Faktor – faktor yang mempengaruhi perpindahan oksigen adalah suhu, kejenuhan, oksigen, karakteristik air dan derajat turbulensi.

2.8 Hipotesa

Berdasarkan perumusan masalah dan tujuan penelitian, maka dapat dikemukakan hipotesa sebagai berikut:

1. Variasi waktu kontak dan dosis koagulan berpengaruh terhadap efisiensi penurunan kadar Pb pada Lindi.